

海岸带生态系统健康评价——以宁德市海洋生态特别保护区为例

赵莉莉^{1,2}, 范勋承^{1,2}, 何东进^{2*}

(1. 邵阳学院城乡建设学院, 湖南邵阳 422000; 2. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002)

摘要 以福建省宁德海洋生态特别保护区为例, 借助 RS 和 GIS 技术, 运用 PSR 概念模型, 构建保护区生态系统健康评价指标体系, 最终得到以下结论: 研究期间, 福安市和蕉城区的生态系统健康一直处于良好状态, 生态系统极其稳定。然而, 福鼎市和霞浦县的生态系统健康状况 14 年中虽保持上升趋势, 但等级仍处于一般水平。霞浦县的生态系统服务健康值处于临界点, 需得到有关部门的高度重视。


关键词 PSR 模型; 生态系统; 健康评价; 福建省

中图分类号 X 826 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)24-0071-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Assessment of Coastal Ecosystem Health—A Case Study of Ningde City Marine Ecology Special Reserve

ZHAO Li-li^{1,2}, FAN Xun-cheng^{1,2}, HE Dong-jin² (1. College of Urban and Rural Construction, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422000; 2. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract In this study, assessment system of PSR (Pressure-State-Response) was used to assess the ecosystem health under the support of RS and GIS in Ningde City marine ecology special reserve. The results showed that the entire ecosystem status of the study areas was good and stable. The ecosystem status of Fu'an and Jiaocheng was always good and extremely stable during the study period. The ecosystem status in Fuding and Xiapu were generally healthy, but the value of their assessment had continued to rise. The status of ecosystem in Xiapu needed to be paid attention to by the relevant departments because the value was at a critical point.

Key words PSR model; Ecosystem; Health assessment; Fujian Province

生态系统健康是生态系统的综合特性, 指一个生态系统所具有的整体性、稳定性和可持续性, 被认为是环境管理的终极目标^[1-2]。健康的生态系统是指该生态系统是活跃的、可维持组织结构的, 且在压力下能自我恢复, 同时健康的生态系统也是人类可持续发展的核心保障^[3-5]。对生态系统健康状况的定量监测和评价成为评估区域可持续发展状态的重要途径。

海岸带地区是海洋与陆地的过渡地带, 由于自然资源丰富、地理区位优势等特点, 这里成为世界人口最为集中的区域之一^[6]。近年来, 海岸带地区经济发展不断加快, 承受的压力不断增大, 导致海岸带生态系统出现了结构受损和功能降低等问题^[7]。为实现海岸带地区经济和社会的可持续发展, 维持系统的稳定, 探究海岸带区域健康现状势在必行。近年来, 国内众多学者对海岸带生态系统健康方面进行了积极的探索与实践: 如韩美等^[8]从生态特征、整体功能和外部社会环境等方面构建了综合评价体系, 对 2003 年山东省寿光沿海湿地生态系统的健康状况进行了评价, 发现研究区的生态系统健康状况处于亚健康状态; 朱智滔等^[9]运用 PSR 模型分析了沿海湿地生态系统的影响因素, 并以江苏省为例, 设计了反映湿地生态系统健康状况的预警灯显表; 宁立新等^[10]运用层次分析法和熵权法结合确定了指标权重, 对 1995—2014 年间江苏海岸带的生态系统健康状况进行分析发现, 研究区生态系统健康状况较好的区域集中在中部, 较差区域在南和北两侧; 崔莉^[11]运用 CLUE 模型模拟未来规划情境和生态保护情境下浙江沿海区域的景观格局的时空变

化, 并在此基础上对 2 种情境下生态系统健康状况进行评价, 确定了研究区生态系统敏感区、水平下降区和潜在威胁区; 沙宏杰等^[12]基于遥感监测数据, 运用 TOPSIS 和 VOR 生态系统健康度量模型对江苏省中部海岸新洋港到川东海岸段的生态系统健康状况进行了评价。

宁德市海洋生态特别保护区处于海陆过渡地带, 是宁德市经济最发达和最具活力的前沿地带。研究期间该区域 GDP 由 2000 年的 202.67 亿元猛增至 2014 年的 1 376.09 亿元, 14 年间增至近 7 倍, 海岸带区域人口迅速增长, 户籍总人口从 208.10 万人增长到 230.28 万人, 增加了 22.18 万人, 至 2014 年底, 海岸带区域常住人口已占宁德市常住人口 68%^[8-10]。同时, 人口密度也不断增大, 2000 年海岸带户籍人口密度为 317 人/km², 2014 年海岸带户籍人口密度增至 350 人/km²^[13-15]。研究期间, 人口增长和对资源的掠夺式开发利用导致研究区生态环境破坏较为严重, 其可持续性发展受到空前挑战。笔者以宁德市的海岸带区域为例, 即以宁德海洋生态特别保护区(以下简称“保护区”)作为研究对象, 以生态系统健康、景观生态学等理论为基础, 依据 PSR 模型构建生态系统健康评价指标体系, 探讨保护区生态系统健康的时空动态变化, 旨在为合理开发利用保护区资源、恢复保护区生态系统健康提供有益支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 宁德海洋生态特别保护区位于我国东南沿海, 建立于 2002 年, 是全国第一个由地方政府批准的海洋生态特别保护区, 由宁德市管辖的福鼎、霞浦、福安、蕉城组成(图 1)。保护区属于典型的中亚热带季风气候特征, 年均气温 18.5~19.3℃。该区陆地面积为 6 253 km², 大陆海岸线长 878.16 km, 占全省 1/3, 海域面积 4.46×10⁴ km², 占全省 1/3, 岛屿 448 个, 岛屿面积 125.91 km², 占全省岛屿面积

基金项目 福建省科技厅引导项目(2015N0018); 湖南省教育厅一般项目(19C1670); 邵阳学院博士专项(17ZX03)。

作者简介 赵莉莉(1985—), 女, 黑龙江青冈人, 助理研究员, 博士, 从事土地利用与景观生态研究。* 通信作者, 教授, 博士, 从事统计学与生态学研究。

收稿日期 2020-07-14

28.95%。该区水产资源极为丰富,拥有海洋生物 600 多种,大

黄鱼人工繁殖及育苗技术处于国际领先水平。

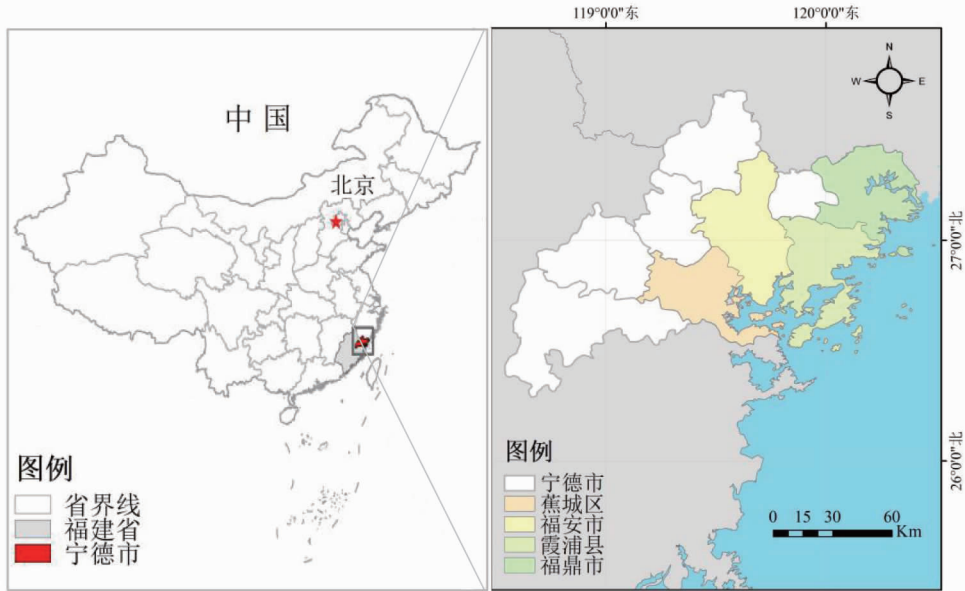


图1 研究区示意

Fig.1 Map of the study area

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源与处理。该研究所需遥感数据来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>)。从该网站上选择云覆盖率低于 10% 的 Landsat-5 TM (2000 和 2009 年) 和 Landsat-8OLI (2014 年) 遥感影像作为数据源,采用 ENVI 5.2 软件对图像进行彩色合成、裁切和拼接处理,其中采用 4、3、2 波段和 5、4、3 波段分别对 Landsat-5 TM 和 Landsat-8OLI 进行遥感影像的彩色合成。结合遥感影像的分辨率和已收集到的研究区基础数据的情况,将保护区土地利用类型分为林草地、耕地、水域、水产养殖、建筑用地和未利用地六类。

1.2.2 评价方法。

1.2.2.1 评价指标体系的建立。PSR (Pressure-State-Response) 环境评价模型于 20 世纪 80 年代被提出,是生态系统

评价指标体系中被应用最为广泛的模型之一,可用有差异但又彼此有关系的指标类型来表征某类环境问题^[16-17]。该模型指标的体系由压力指标 (P)、状态指标 (S) 及响应指标 (R) 组成。压力指标选择人口密度、建筑干扰度以及土地垦殖率共 3 个指标反映。状态指标选择景观内的植被、景观结构 (多样性指数、平均斑块面积及均匀度) 及其恢复力来体现。响应指标是指生态环境受压力时自身所表现出的特性。生态系统服务功能指的是对人类社会所提供的物质以及生存环境的一种服务性。由于在其研究中涉及众多类型因素,如气候、植被、土壤等,直接体现了生态系统的响应全过程,故选择生态系统服务功能作为响应指标。具体评价指标如表 1 所示。

表 1 保护区生态系统健康评价体系

Table 1 Evaluation index system of ecosystem health in protected area

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Index layer	量化标准 Quantitative criteria
海岸带生态系统健康 Coastal ecosystem health	压力 (P)	人口密度 X_1	人口数量/研究区土地总面积
		建筑干扰度 X_2	建筑用地面积/研究区土地总面积
		土地垦殖率 X_3	耕地面积/研究区土地总面积
	状态 (S)	植被指标 X_4	用归一化差分植被指数表示
		结构指标 X_5	用 Shannon 多样性指数表示 用均匀度指数表示 用平均斑块面积表示
		恢复力指标 X_6	用恢复力指数表示
	响应 (R)	生态系统服务 X_7	用生态系统服务功能价值表示

1.2.2.2 指标权重的确定。生态系统健康评价中,根据指标重要程度的差异来确定权重而权重的分配直接对评价结果产生影响,对评价因子合理的赋予权重对提高评价精度意义重大。确定指标权重的方法主要有主观赋权法与客观赋权

法两类^[18]。主观赋权法主要依据专家经验人为主观确定指标权重,客观赋权法则根据原始数据运用统计方法计算而得,考虑到生态系统健康评价本身就是一种人为的主观判断,虽然权重确定的过程较为主观,但一般都能基本反映评

价指标间的相对重要性差异,其实用性要强于客观赋权法^[19]。考虑到研究区的实际情况,并借鉴马明睿^[20]的研究成果,选用主观赋权法来确定指标权重。首先,采用标度方法进行每两元素间的重要性相对比较,即一个因素与另一个因素同样重要、稍微重要、明显重要、强烈重要、极端重要,分别表示各中值,再通过专家咨询打分法分别构建各层指标标度值的判断矩阵,利用 Yaahp 软件运算判断矩阵,通过一致性检验,得出各层矩阵的特征向量,确定各个评价指标的权重(表 2)。

1.2.2.3 量纲的统一。由于各指标量纲单位的差异会对数据的分析结果造成影响,因此需对数据进行无量纲化处理。采用归一化方法进行无量纲处理:

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

式中, X_{\max} 为数据样本的最大值; X_{\min} 为数据样本的最小值。

1.2.2.4 评价模型的建立。采用综合指数法来计算保护区的生态系统健康状况:

$$SHI = \sum X_i \times W_i \quad (2)$$

式中, SHI 代表综合指标; X_i 为归一化处理后的各指标值; W_i 则是第 i 项指标权重值。

表 2 各评价指标权重值

Table 2 Weight of each evaluation index factor

指标 Index	权重 Weight	单因子指标 Single factor index	权重 Weight
压力 Pressure (P)	0.340	人口密度	0.161
		人口干扰度	0.108
		土地垦殖率	0.071
状态 State (S)	0.472	归一化植被指数	0.060
		多样化指数	0.098
		均匀度指数	0.065
		平均斑块面积	0.134
		恢复力	0.114
响应 Response (R)	0.188	生态系统服务功能价值	0.188

1.2.2.5 评价标准。目前学术界关于生态系统健康评价的标准并没有统一,大部分学者在选取评价指标时均根据自身研究的需要与相关国家标准相结合来确定等级,因此评价的标准因研究方向和对象不同而各异^[20-21]。该研究采用可量化的评价标准将综合评价得分按大小排列来反映系统健康的程度,最终将生态系统健康分为 5 个级别:良好、较好、一般、较差和差,生态系统健康分级结果及等级评语见表 3。

表 3 保护区生态系统健康状况分级

Table 3 Classification of ecosystem health status in protected area

健康状况 Health condition	综合指数 Composite index	健康评语 Health comments
良好 Good	(1.8, 2.6]	景观结构非常合理,自然状态良好,系统恢复力极强,外界压力小,生态系统功能完善、价值高,满足系统动态平衡状态,社会经济协调发展,适合人类生存
较好 Better	(1.6, 1.8]	景观结构比较合理,格局尚完善,系统恢复力较强,外界压力较小,系统尚健康,生态系统服务功能价值较高,基本满足系统动态平衡,基本适合人类生存
一般 General	(1.4, 1.6]	景观结构较合理,系统恢复力一般,外界压力较大,接近生态阈值,可发挥基本生态系统功能,有不适合人类生存的制约性因子,尚能维持系统动态平衡状态
较差 Poor	(1.2, 1.4]	景观结构出现缺陷,系统恢复力较差,外界压力大,生态功能不能维持生态系统需要,存在制约人类生存的因素,系统动态平衡状态开始受到威胁,社会经济发展不够协调
差 Bad	(0, 1.2]	景观结构极不合理,恢复力极差,植被斑块严重破碎化,外界压力极大,功能丧失,系统动态平衡状态被破坏,社会经济发展不协调,人类生存环境恶劣

2 结果与分析

2.1 保护区生态系统健康综合特征分析 根据公式(1)和(2)对各指标等进行计算,并根据表 3 进行打分。各评价单元的计算结果和评价结果见表 4 和 5。整体上看,14 年间保护区的生态系统健康状况逐渐好转,各阶段略有起伏。在 2000—2014 年的前 9 年中,生态系统健康状况显著好转,后 4 年略有回落,但均保持了经济发展过程中生态系统的稳定态势。

表 4 保护区生态系统健康状况

Table 4 Health status of ecosystem in protected area

评价单元 Evaluation unit	综合指标 Comprehensive index			
	2000 年	2009 年	2014 年	平均值 Average
福安市 Fu'an City	2.007	2.541	2.394	2.314
福鼎市 Fuding City	0.853	1.349	1.578	1.260
蕉城区 Jiaocheng District	1.748	2.008	1.856	1.871
霞浦县 Xiapu County	1.165	1.416	1.410	1.330
海岸带 Coastal Zone	1.389	1.846	1.724	1.653

2.2 保护区生态系统健康状况分区县特征分析 研究期间,福安市和蕉城区的健康状况等级均表现良好;福鼎市生态系统健康状况由评级为五级(差)升至三级(一般),生态系统健康状况有所好转,但仍接近生态阈值,系统的恢复力一般且压力较大;霞浦县的健康状况虽有好转,尚处于三级。

从各阶段看,2000 年生态系统健康状况为良好的评价单元仅有福安市 1 个,至 2009 年新增蕉城区,面积占比变化较大,由原来 29.10% 上升到 51.75%,增加了 22.65 个百分点。2009—2014 年,健康状况良好的评价单元个数未变,仍为福安市和蕉城区 2 个,而处于四级健康状况的福鼎市,由原有的四级变成三级,即健康状况从较差变成一般。

2.3 影响保护区生态系统健康状况的主要因素 研究期间,保护区生态系统健康等级由一级 1 个、二级 1 个、五级 2 个转变成一级 2 个、三级 2 个,说明其生态系统健康状况持续好转,这主要归因于国家和地方政策的影响。21 世纪初,我

国处于加入 WTO 的过渡期,经济发展战略上侧重于加快城市化速度、提高经济增长质量。宁德海洋生态特别保护区在国家宏观背景下,区域经济发展较快,城市化进程显著增快,同时该区又是国家确定的以发挥经济效益为主的商品林业

建设重点地区之一,商品林的不断增加,生态公益林建设的推进以及森林生态效益补偿制度等政策的实施^[22],使区域生态系统服务价值不断提高,因此整个区域的健康程度持续好转。

表 5 保护区生态系统健康的评价结果

Table 5 The results of ecosystem health assessment in protected area

健康等级 Health level	状态 State	2000年		2009年		2014年	
		评价单位个数 Number of evaluation units	面积比例 Area ratio %	评价单位个数 Number of evaluation units	面积比例 Area ratio %	评价单位个数 Number of evaluation units	面积比例 Area ratio %
一级 Grade one	良好	1	29.10	2	51.75	2	51.75
二级 Grade two	较好	1	22.65	0	0.00	0	0.00
三级 Grade three	一般	0	0.00	1	24.61	2	48.25
四级 Grade four	较差	0	0.00	1	23.64	0	0.00
五级 Grade five	差	2	48.25	0	0.00	0	0.00

同时,为使该地区海洋生态得到良性循环,经有关专家论证及地方政府批准,2002年建立了海洋生态特别保护区,并制定了《宁德市海洋生态特别保护区生态环境保护管理条例》。改变粗放型生产经营方式,走生态经济型发展道路等一系列措施的实施,基本保障了在经济和城镇化高速发展的情况下生态环境的健康发展,即保护区生态系统健康状况的持续转好。

3 结论

采用 PSR 模型对宁德海洋生态特别保护区 2000—2014 年的生态系统健康状况进行了评价,结果如下。

(1)整体上,研究期间保护区生态系统健康状况持续上升,其中 2000—2009 年,保护区生态系统健康状况上升趋势明显;2009—2014 年,生态系统健康状况略有下降,但生态系统健康状况较为稳定。

(2)各区县上,福安市和蕉城区的生态系统健康状况一直处于良好状态;相比之下,福鼎市和霞浦县生态系统健康状况 14 年间呈上升趋势,由差转为一般,但霞浦县生态系统健康的综合指数处于临界点,仍需要得到有关部门的重视,以确保其健康状况平稳上升。

参考文献

[1] RAPPORT D J, BÖHM G, BUCKINGHAM D, et al. Ecosystem health: The concept, the ISEH, and the important tasks ahead [J]. *Ecosystem health*, 1999, 5(2): 82-90.

[2] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.

[3] COSTANZA R. Ecosystem health and ecological engineering [J]. *Ecological engineering*, 2012, 45: 24-29.

[4] PENG J, LIU Y X, LI T Y, et al. Regional ecosystem health response to rural land use change: A case study in Lijiang City, China [J]. *Ecological in-*

dicators, 2017, 72: 399-410.

[5] GAO Q Z, HU G Z, LIANG C Z, et al. Understanding ecosystem functions in grasslands under climate change for sustainable development of the Inner Mongolian Plateau [J]. *The rangeland journal*, 2018, 40(2): 1-5.

[6] WANG H, WANG L, LI X L, et al. Bird density and the evaluation of importance of buffer zone of the largest coastal nature reserve, Yancheng Reserve, China [J]. *Pakistan journal of zoology*, 2019, 51(6): 1999-2006.

[7] CHUANG Y H, YU R F, CHEN W Y, et al. Sustainable planning for a coastal wetland system with an integrated ANP and DPSIR model for conflict resolution [J]. *Wetlands ecology and management*, 2018, 26(6): 1015-1036.

[8] 韩美, 李艳红, 李海亭, 等. 山东寿光沿海湿地生态系统健康诊断 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(4): 78-83.

[9] 朱智洛, 冯步云, 刘磊. 沿海湿地生态系统健康预警指标体系的设计 [J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(5): 436-441.

[10] 宁立新, 马兰, 周云凯, 等. 基于 PSR 模型的江苏海岸带生态系统健康时空变化研究 [J]. *中国环境科学*, 2016, 36(2): 534-543.

[11] 崔莉. 基于景观格局变化分析的沿海区域生态系统保护研究: 以浙江沿海地区为例 [J]. *管理世界*, 2018(6): 72-82, 93.

[12] 沙宏杰, 张东, 施顺杰, 等. 基于耦合模型和遥感技术的江苏中部海岸带生态系统健康评价 [J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 7102-7112.

[13] 宁德统计局. 宁德统计年鉴 2000 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.

[14] 宁德统计局. 宁德统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.

[15] 宁德统计局. 宁德统计年鉴 2014 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.

[16] RAPPORT D J. What constitutes ecosystem health? [J]. *Perspectives in biology and medicine*, 1989, 33(1): 120-132.

[17] SUN T T, LIN W P, CHEN G S, et al. Wetland ecosystem health assessment through integrating remote sensing and inventory data with an assessment model for the Hangzhou Bay, China [J]. *Science of the total environment*, 2016, 566/567: 627-640.

[18] 彭建, 王仰麟, 吴健生, 等. 区域生态系统健康评价——研究方法与发展 [J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4877-4885.

[19] 马振刚, 李黎黎, 杨润田, 等. 京张区域生态系统健康评价与应对策略 [J]. *干旱区研究*, 2019, 36(1): 228-236.

[20] 马明睿. 崇明土地利用与景观格局动态分析及生态系统健康评价 [D]. 上海: 华东师范大学, 2013: 35-36.

[21] 秦趣, 黄艳, 崔小平. 基于 PSR 模型的云贵高原湿地生态系统健康评价 [J]. *水生态学杂志*, 2019, 40(5): 26-31.

[22] 赵莉莉, 何东进, 覃德华, 等. 2000—2014 年闽东海岸带土地利用动态变化 [J]. *热带作物学报*, 2017, 38(5): 803-810.